

## Beschreibung

## Leiter für flüssigkeitsgekühlte Wicklungen

5 Die Erfindung betrifft einen Leiter für flüssigkeitsgekühlte  
Wicklungen, insbesondere für Transformator- oder Drosselspu-  
lenwicklungen nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs. Die  
Erfindung betrifft ferner einen entsprechenden flüssigkeits-  
10 gekühlten Transformator und eine flüssigkeitsgekühlte Dros-  
selspule.

Eine aus einem gattungsgemäßen Leiter gebildete Wicklung ei-  
nes ölgefüllten Transformators oder ähnlichen elektrischen  
Geräts höherer Leistung ist regelmäßig mit Kühlkanälen zur  
15 Führung einer Kühlflüssigkeit wie beispielsweise Öl durchzo-  
gen, um eine durch Ohmsche Verluste anfallende Wärme abzufüh-  
ren. Die im Leiter entstehende Wärme muss dabei durch eine  
üblicherweise unmittelbar am Leiter anliegende isolierende  
Ummantelung, die typischerweise aus Papier gefertigt ist, und  
20 eine sich an einer Oberfläche dieser Ummantelung bildende  
Grenzschicht dringen. Dabei tritt sowohl in der Ummantelung  
als auch in der Grenzschicht ein Temperaturgradient auf und  
damit eine Temperaturdifferenz zwischen dem Leiter und der  
Kühlflüssigkeit. Bei gegebener Größe der abzuführenden Wärme  
25 ist diese Temperaturdifferenz eine bestimmende Größe für zu  
wählende Abmessungen des Leiters und der entsprechenden Wick-  
lung.

Um eine hinreichend gute Kühlung zu gewährleisten, müssen da-  
30 her für Wicklungen mit Leitern nach dem Stand der Technik  
insbesondere häufig größere Abmessungen gewählt werden, als  
wünschenswert wären. Aus den Druckschriften EP 0746861 B1 und  
EP 1079500 A1 sind Leiter für Transformatorwicklungen be-  
kannt, die aus mehreren Teilleitern bestehen und eine derar-  
35 tig perforierte oder netzartige Ummantelung aufweisen, dass  
die entsprechende Kühlflüssigkeit durch die Ummantelung hin-  
durch strömen und dadurch die einzelnen Teilleiter umströmen

kann. Dadurch wird zwar eine bessere Kühlwirkung erreicht, allerdings um den Preis einer deutlich schlechteren Isolierung des jeweiligen Leiters, bei dem anstelle des Leiters als ganzem nur noch die einzelnen Teilleiter isoliert sind durch  
5 eine dünne Lackschicht. Ein Einsatz solcher Leiter ist daher nur bei relativ kleinen Spannungen bis zu ungefähr 25 kV möglich, da höhere Spannungen nach einer vollständig abschließenden Ummantelung des Leiters verlangen.

10 Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, einen Leiter für flüssigkeitsgekühlte Wicklungen zu entwickeln, der eine verbesserte Kühlung auch bei einem Betrieb mit höheren Spannungen erlaubt und damit eine Ausführung entsprechender elektrischer Geräte mit geringeren Abmessungen ermöglicht.

15

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Leiter mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Hauptanspruchs sowie durch einen Transformator und eine Drosselspule mit den  
20 Merkmalen des Anspruchs 13. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich mit den Merkmalen der Unteransprüche.

Dadurch, dass der Leiter eine ihn als ganzen umgebende isolierende Ummantelung aufweist, wobei zumindest eine Lage der  
25 Ummantelung den Leiter vollständig abdeckend umgibt, gleichzeitig aber eine äußere Lage von insgesamt mindestens zwei Lagen der Ummantelung Öffnungen, Maschen oder Ausfransungen aufweist, wird einerseits eine gute elektrische Isolierung des Leiters erreicht, der damit auch für einen Betrieb mit  
30 sehr hohen Spannungen geeignet ist, und andererseits eine Oberfläche des Leiters bzw. der Ummantelung des Leiters, die derart strukturiert ist, dass eine den Leiter umströmende Kühlflüssigkeit oder zumindest eine am Leiter anliegende Grenzschicht dieser Kühlflüssigkeit in Turbulenzen versetzt  
35 wird. Letzteres führt zu einem deutlich verbesserten Wärmeaustausch an der Oberfläche des Leiters, verbessert dadurch die Kühlwirkung durch die den Leiter umströmende Kühlflüssig-

keit und erlaubt so eine kompaktere Bauweise flüssigkeitsgekühlter elektrischer Geräte mit Wicklungen, die durch einen solchen Leiter gebildet sind. Insbesondere flüssigkeitsgekühlte Drosselspulen oder Transformatoren, bei denen mindestens eine, vorzugsweise jede Wicklung aus einem Leiter der beschriebenen Art besteht, lassen sich dadurch in vorteilhafter Weise gegenüber entsprechenden Geräten nach dem Stand der Technik mit kleineren Abmessungen und/oder einer Eignung für größere Betriebsspannungen realisieren. Der beschriebene Vorteil einer verbesserten Kühlung wird dabei erreicht, obwohl die Kühlflüssigkeit die Ummantelung nicht durchströmen kann und daher auch im Fall eines Aufbaus des Leiters aus mehreren Teilleitern letztere nicht einzeln umströmen kann. Als Ausfransungen, welche die äußere Lage der Ummantelung zur Turbulenzerzeugung anstelle von oder zusätzlich zu Öffnungen und/oder Maschen aufweisen kann, sollen in dieser Schrift fähnchenartig vom Leiter abstehende Teile der genannten Lage bezeichnet sein.

Eine Lage der Ummantelung des Leiters kann durch eine Umwicklung des Leiters mit einem flächigen Material gebildet sein, vorzugsweise durch eine Umwicklung mit einem Streifen, der den Leiter spiralförmig umgibt. Dadurch wird eine sehr einfache Herstellung der Ummantelung oder der entsprechenden Lage der Ummantelung möglich. Selbstverständlich können auch mehrere oder alle Lagen der Ummantelung so gebildet sein. Ein für eine Lage oder mehrere Lagen der Ummantelung sehr geeignetes Material ist Papier, das gut isolierend, preiswert und aufgrund einer hohen Flexibilität leicht zu verarbeiten ist. Insbesondere die Lage oder Lagen, die einen den Leiter vollständig abdeckend umgebenden Teil der Ummantelung bilden, können aus jeweils einem einfachen Papierstreifen bestehen.

Auch die äußere Lage kann bei einer sehr einfach und preiswert herzustellenden Ausführung eines erfindungsgemäßen Leiters aus Papier bestehen, das zur Bildung der Öffnungen perforiert sein kann und dadurch zu einer gewünschten Oberflä-

cheneigenschaft des Leiters führt. Bei einer anderen, ebenfalls einfachen Ausführung der Erfindung besteht die äußere Lage aus einem spiralförmig um den Leiter gewickeltem Band, das einen in nicht zu großen Abständen eingeschnittenen Rand hat, so dass dieser Rand vom Leiter abstehende Fähnchen oder Ausfransungen bildet, die eine Strömung der Kühlflüssigkeit in gewünschter Weise beeinflussen. Die Abstände zwischen einzelnen Einschnitten des Bandes, die auch variieren können, können für einen besonders guten Verwirbelungseffekt z.B. zwischen einem Zehntel und einem Fünftel eines Durchmessers des Leiters betragen. Auch bei einer solchen Ausführung der äußeren Lage der Ummantelung bietet sich deren Herstellung aus Papier an.

Eine andere, ebenfalls einfache Realisierung der äußeren Lage der Ummantelung, die zu einer vorteilhaften Beeinflussung der Strömung der Kühlflüssigkeit führt, ergibt sich bei einer Verwendung eines Netzes oder Gewebes für diese Lage. Ein solches Netz oder Gewebe kann, um hinreichend stabil und selbst nicht leitend zu sein, aus Kunststoff oder Kunstfasern bestehen, beispielsweise aus Polyamid oder Nylon. Durch Maschen dieses Netzes oder Gewebes, die je nach Viskosität der verwendeten Kühlflüssigkeit zur Erzielung des angestrebten Verwirbelungseffekts beispielsweise Durchmesser von jeweils zwischen 1 mm und 15 mm, bei typischen Ausführungen zwischen 1,5 mm und 5 mm haben können, geben dem Leiter bzw. der Ummantelung des Leiters dann eine Oberflächenstruktur, die dort die Grenzschicht der Kühlflüssigkeit aufbricht und eine Erzeugung von Turbulenzen entsprechender typischer Größenskalen zur Folge hat.

Bei allen geschilderten Ausführungen der Erfindung wird dabei die Strömung der Kühlflüssigkeit bzw. deren Grenzschicht nicht nur örtlich begrenzt, sondern an der ganzen Oberfläche des Leiters manipuliert und dadurch nicht nur lokal, sondern großflächig ein besserer Wärmeaustausch erreicht. Bei einer perforierten bzw. mit Öffnungen versehenen Ausführung der äu-

Bei der Lage ist dieser Effekt besonders gut, wenn die Öffnungen einen Durchmesser von zwischen 2 mm und 10 mm haben, bei typischen Kühlflüssigkeiten und Strömungsgeschwindigkeiten erweisen sich Öffnungen eines Durchmessers von zwischen 3 mm und 7 mm als optimal. Eine besonders homogene Beeinflussung der Strömung, die eine flächige Turbulenzbildung begünstigt, erhält man wiederum, wenn die mit Öffnungen oder Maschen versehene äußere Lage der Ummantelung einen Anteil von zwischen 30% und 80% der darunter liegenden Lage abdeckt, durch die Öffnungen oder Maschen also ein Flächenanteil von zwischen 20% und 70% der darunter liegenden Lage unbedeckt bleibt. Bei einer Ausführung mit einer in zuvor beschriebenen Art ausgefrästen äußeren Lage ist aus dem gleichen Grund vorteilhafterweise darauf zu achten, dass aufeinander folgende absteigende Bestandteile der äußeren Lage auch in Längsrichtung des Leiters um nicht mehr als etwa einen Leiterdurchmesser beabstandet sind.

Als Kühlmittel für Wicklungen, die durch derartige Leiter gebildet sind, eignen sich Öle und Esterflüssigkeiten, insbesondere mineralische Öle und synthetische Öle wie Silikonöl, besonders gut. Diese Kühlflüssigkeiten zeichnen sich durch eine geeignete Viskosität und zweckdienliche Hitzebeständigkeit aus.

Eine hinreichend gute elektrische Isolierung des Leiters auch für einen Betrieb mit sehr hohen Spannungen kann man gewährleisten, wenn die innere Lage der Ummantelung, die den Leiter vollständig abdeckend umgibt, oder eine eventuell aus mehreren Lagen gebildete, den Leiter vollständig abdeckende innere Schicht der Ummantelung eine Dicke von zwischen 0,1 mm und 2 mm hat. Diese Lage bzw. Schicht soll nicht dicker als nötig sein, um die Kühlung des Leiters nicht mehr als nötig zu beeinträchtigen, für übliche Verwendungszwecke bedeutet eine Dicke dieser Lage bzw. Schicht von zwischen 0,2 mm und 1 mm einen guten Kompromiss.

Bei bevorzugten Ausführungen erfindungsgemäßer Leiter besteht der Leiter aus mehreren einzelnen Teilleitern, die im wesentlichen parallel geführt sind und verdreht sein können. Der Leiter als ganzer wird dadurch flexibler und damit leichter  
5 verarbeitbar. Ein weiterer Vorteil liegt in einer dadurch möglichen weitgehenden Reduzierung von Wirbelströmen im Leiter und damit verbundenen Leistungs- und Wärmeverlusten. Dadurch erhält der Leiter nicht nur vorteilhaftere elektrische Eigenschaften, auch wird die Kühlung des Leiters durch die  
10 Reduzierung der anfallenden Wärme noch weiter vereinfacht und eine dadurch noch kompaktere Bauweise eines entsprechenden elektrischen Geräts möglich. Dieser Effekt ist mit geringem Aufwand zu erreichen, wenn der Leiter aus zwischen fünf und einhundertachtundneunzig Teilleitern besteht. Dabei kann der  
15 Leiter auch als Zwillingsdrilleiter ausgeführt sein.

Eine erfindungsgemäße Ausführung von Leitern für flüssigkeitsgekühlte Wicklungen bietet sich insbesondere für solche Leiter an, die einen Querschnitt von zwischen  $0,2 \text{ cm}^2$  und  $40 \text{ cm}^2$ , besser aber nicht mehr als  $16 \text{ cm}^2$  haben und dadurch für  
20 einen Betrieb mit hohen Spannungen und damit üblicherweise verbundenen hohen Stromstärken geeignet sind, andererseits aber noch eine effektive Kühlung durch eine den Leiter als Ganzen umströmende Kühlflüssigkeit erlauben. Solche Leiter  
25 sind besonders gut zu Wicklungen zu verarbeiten, wenn sie einen rechteckigen Querschnitt haben, was insbesondere bei einem Aufbau aus mehreren Teilleitern leicht zu realisieren ist.

30 Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der Figuren 1 bis 3 erläutert. Es zeigt

- Figur 1 in perspektivischer Darstellung ein Ende eines erfindungsgemäßen Leiters,  
35 Figur 2 in gleicher Darstellung ein Ende eines anderen erfindungsgemäßen Leiters und

Figur 3 wieder in perspektivischer Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Leiter.

- 5 In Figur 1 ist ein Leiter 1 zu sehen, der eine aus einer inneren Lage 2 und einer äußeren Lage 3 bestehende Ummantelung aufweist. Die innere Lage 2 bildet eine konventionelle Papierisolation, ist also durch eine Papierumwicklung realisiert und umgibt den Leiter 1 so, dass sie ihn vollständig  
10 abdeckt. Die äußere Lage 3, die ebenfalls aus einer Umwicklung mit einem Papierstreifen besteht, weist eine durch Öffnungen 4 gebildete Perforation auf. Diese Öffnungen 4 haben einen Durchmesser von ungefähr 4 mm und überziehen die äußere Lage 3 derart, dass diese nur etwa 60% der darunter liegenden  
15 inneren Lage 2 abdeckt. Der Leiter 1, der eine Wicklung eines ölgekühlten Transformators bildet, bzw. die Ummantelung dieses Leiters 1 erhält dadurch eine Oberflächenstruktur, die eine Strömung eines als Kühlmittel dienenden synthetischen Öls zumindest an dieser Oberfläche in Turbulenzen versetzt  
20 und dadurch zu einem verbesserten Wärmeaustausch und einer effektiveren Kühlung des Leiters 1 führt. Der Leiter 1, der aus fünfunddreißig Teilleitern besteht, hat einen Querschnitt von etwa  $5,5 \text{ cm}^2$ . Durch die perforierte Ausführung der äußeren Lage 3 der Ummantelung dieses Leiters 1 ergibt sich eine  
25 sehr effektive Kühlung dieses Leiters 1 durch den beschriebenen Effekt, obwohl das Kühlmittel aufgrund der isolierenden inneren Lage 2, die eine Dicke von ungefähr 0,5 mm hat, die Teilleiter des Leiters 1 nicht einzeln umströmen kann.
- 30 Eine andere Ausführung der Erfindung ist in Figur 2 dargestellt. Zu erkennen ist wieder ein Leiter 1 mit einer Ummantelung, die aus einer inneren Lage 2 und einer äußeren Lage 3 besteht. Anders als bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel wird die äußere Lage 3 der Ummantelung hier durch  
35 ein Nylonnetz gebildet, das Maschen 5 eines Durchmessers von etwa 8 mm aufweist und dadurch einen ähnlichen Effekt einer Verwirbelung einer strömenden Kühlflüssigkeit bewirkt.

- Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist schließlich in Figur 3 abgebildet, bei dem wieder ein eigentlicher Leiter 1 sowie eine innere Lage 2 und eine äußere Lage 3 zu sehen sind. Wie bei dem zuerst beschriebenen Beispiel ist die äußere Lage 3 hier durch eine Umwicklung des Leiters 1 und der darunter liegenden inneren Lage 2 mit einem Papierstreifen realisiert, wobei dieser Papierstreifen hier anstelle einer Perforierung einen in regelmäßigen Abständen eingeschnittenen Rand aufweist. Dadurch bildet dieser Rand abstehende Fähnchen 6. Die äußere Lage 3 weist mit diesen Fähnchen 6 Ausfransungen auf, die wiederum eine Turbulenzbildung in einer vorbeiströmenden Kühlflüssigkeit zur Folge haben.
- 15 Die in den Figuren 1 bis 3 abgebildeten Leiter eignen sich gleichermaßen auch für eine Verwendung in flüssigkeitsgekühlten Drosselspulen oder ähnlichen elektrischen Geräten mit flüssigkeitsgekühlten Wicklungen.



## Patentansprüche

1. Leiter für Flüssigkeitsgekühlte Wicklungen, insbesondere für Transformatorwicklungen, mit einer den Leiter als ganzen umgebenden isolierenden Ummantelung, wobei zumindest eine Lage der Ummantelung den Leiter vollständig abdeckend umgibt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass eine äußere Lage (3) von mindestens zwei Lagen (2, 3) der Ummantelung Öffnungen (4), Maschen (5) oder Ausfransungen aufweist.
2. Leiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine, vorzugsweise jede Lage (2, 3) der Ummantelung durch eine Umwicklung des Leiters (1) gebildet ist.
3. Leiter nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage (2, 3) der Ummantelung, vorzugsweise zumindest jede Lage (2) außer der Äußeren Lage (3) aus Papier besteht.
4. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Lage (3) aus perforiertem Papier besteht.
5. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Lage (3) durch ein an einem Rand in regelmäßigen Abständen so eingeschnittenes Band gebildet ist, dass sich an dem Rand abstehende Fähnchen bilden, wobei dieses Band vorzugsweise aus Papier besteht.
6. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Lage (3) durch ein Netz oder Gewebe gebildet ist, das vorzugsweise aus einem Kunststoff besteht.
7. Leiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Netz oder das Gewebe einzelne Maschen (5) eines Durchmessers von zwischen 1 mm und 15 mm, vorzugsweise zwischen 1,5 mm und 5 mm hat.

8. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Lage (3) Öffnungen (4) eines Durchmessers von zwischen 2 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 3 mm und 7 mm aufweist.

- 5 9. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Lage (3) einen Anteil von zwischen 30% und 80% der darunter liegenden (2) Lage abdeckt.

- 10 10. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass durch die den Leiter vollständig abdeckende Lage (2) bzw. vollständig abdeckenden Lagen (2) der Ummantelung eine Schicht einer Dicke von zwischen 0,1 mm und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,2 mm und 1 mm gebildet ist.

- 15 11. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass er aus mehreren einzelnen Teilleitern besteht, vorzugsweise aus zwischen fünf und einhundertachtundneunzig Teilleitern.

12. Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass er einen vorzugsweise rechteckigen Querschnitt von zwischen 0,2 cm<sup>2</sup> und 40 cm<sup>2</sup> hat.

- 20 13. Flüssigkeitsgekühlter Transformator oder flüssigkeitsgekühlte Drosselspule enthaltend mindestens eine Wicklung aus einem Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

- 25 14. Transformator oder Drosselspule nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Kühlmittel ein den Leiter umgebendes Öl, vorzugsweise mineralisches Öl, oder eine ihn umgebende Esterflüssigkeit vorgesehen ist.

1 / 2

FIG 1

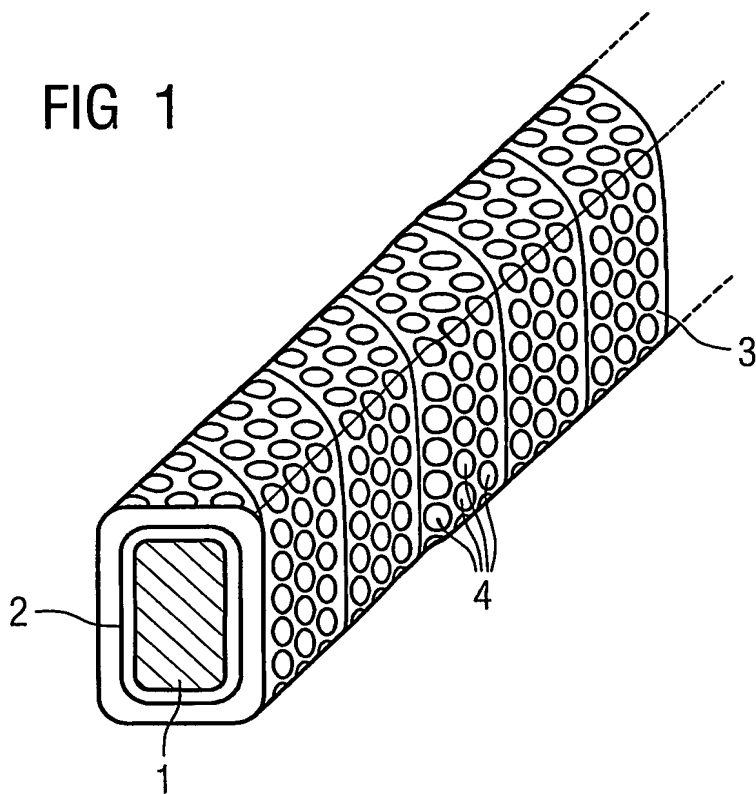


FIG 2

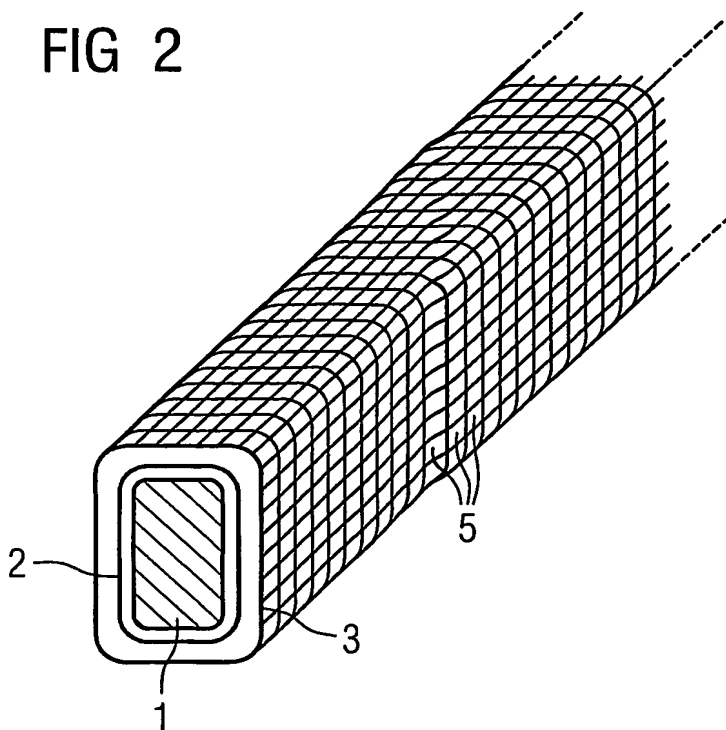


FIG 3

